

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-200886  
(P2001-200886A)

(43)公開日 平成13年7月27日(2001.7.27)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\*(参考)

F 1 6 F 15/02

F 1 6 F 15/02

A 3 J 0 4 8

H 0 1 J 37/16

H 0 1 J 37/16

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願2000-9355(P2000-9355)

(22)出願日 平成12年1月18日(2000.1.18)

(71)出願人 000000239

株式会社荏原製作所  
東京都大田区羽田旭町11番1号

(72)発明者 城野 義紀

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株  
式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 渡辺 和英

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株  
式会社荏原総合研究所内

(74)代理人 100091498

弁理士 渡邊 勇 (外1名)

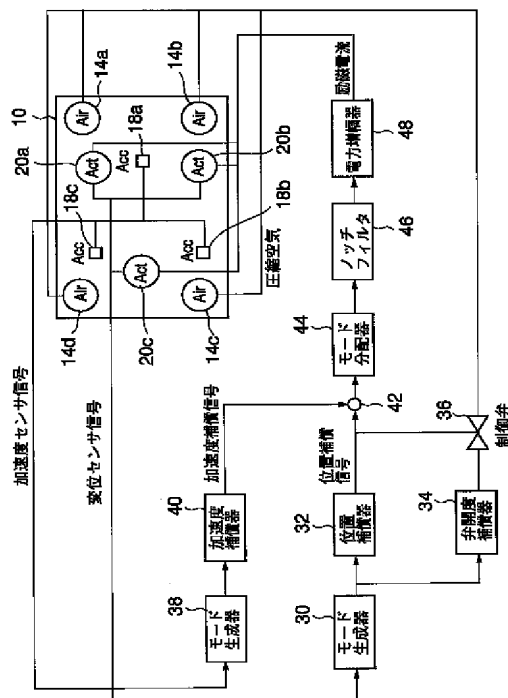
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 能動除振装置

(57)【要約】

【課題】 除振台や該除振台に搭載される搭載物自身のもつ機械的な固有振動数による共振現象を発生させることなく除振制御できるようにする。

【解決手段】 支持機構14で支持され電磁アクチュエータ20で制動力が加えられる除振台10と、除振台10の鉛直方向と水平方向の振動及び位置を検出する変位センサ及び加速度センサ18と、これらの検出信号を運動モードに分解する第1のモード生成器30及び第2のモード生成器38と、第1のモード生成器の出力から位置に関する補償値を生成する位置補償器32と、第2のモード生成器の出力から加速度に関する補償値を生成する加速度補償器40と、位置に関する補償値と加速度に関する補償値を合成した信号から除振台或いは該除振台に搭載した搭載物の弾性モードの固有振動数にあたる周波数成分を減衰させて電磁アクチュエータ20に制御信号を送るノッチフィルタ46とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 支持機構で防振支持され電磁アクチュエータで制動力が加えられる除振台と、  
前記除振台の鉛直方向と水平方向の位置及び振動をそれぞれ検出する変位センサ及び加速度センサと、  
前記変位センサの検出信号を複数の自由度の運動モードに分解する第1のモード生成器と、  
前記加速度センサの検出信号を複数の自由度の運動モードに分解する第2のモード生成器と、  
前記第1のモード生成器の出力から各自由度における位置に関する補償値を生成する位置補償器と、  
前記第2のモード生成器の出力から各自由度における加速度に関する補償値を生成する加速度補償器と、  
前記位置に関する補償値と前記加速度に関する補償値を合成した信号から前記除振台或いは該除振台に搭載した搭載物の弾性モードの固有振動数にあたる周波数成分を減衰させて前記電磁アクチュエータに制御信号を送るノッチフィルタとを有することを特徴とする能動除振装置。

【請求項2】 前記固有振動数は、設計時の構造解析や実試験で弾性モードの解析を行って求めたものであることを特徴とする請求項1記載の能動除振装置。

【請求項3】 前記ノッチフィルタは、鉛直方向の振動制御モード信号に対してフィルタリングすることを特徴とする請求項1または2記載の能動除振装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、設置床からの振動を遮断し、または製品の歩留りや測定観測精度上に悪影響を与える装置自身からの加振力を制振しつつ、半導体製造装置や電子顕微鏡等を搭載する高精度の能動除振装置に関する。特に、搭載物自身或いは除振台の弾性モードによる共振現象を防止し低減するようにした能動除振装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、振動を極度に嫌う電子顕微鏡、半導体製造装置等の機械装置は、除振装置に搭載されて工場等に設置されており、古くからある空気ばね、又はゴムを用いた従来の受動制御型の除振装置に代わり、高性能の除振を実現できる電磁アクチュエータを用いた能動制御型の磁気浮上による除振装置が開発されている。また、振動を嫌う装置を搭載した除振台の重量の大部分を空気ばねで支持するとともに、電磁アクチュエータの制御で振動を除去する除振装置が考案されている。

【0003】空気ばねと電磁アクチュエータを併用した除振装置では、空気ばねの空気圧を変位センサの信号に基づいて制御することにより、一定の目標位置に除振台を防振支持するとともに、電磁アクチュエータを併用して除振台の鉛直方向の位置と振動をアクティブに制御す

るシステムが一般に採用されている。アクティブ制御を行う場合、除振台とその搭載物の重量が重いと、電磁石の発生する力だけによる浮上では必要となる制御力が大きくなりすぎるため、空気ばねを併用して搭載物の重量を支えている。即ち、空気ばねにより除振台とその搭載物を安定支持した後に電磁石による制御力を加え、より精密かつ安定な除振を行うようにしている。

【0004】ところで、防振支持され、搭載物を載せた除振台の剛体モードには、図4に示すように、X、Y、Z軸に沿った方向の並進運動モードと、X、Y、Z軸周りの回転運動モードの6つの運動（振動）モードがある。そして、搭載物の重心が高い場合には、水平方向の並進運動モードと水平軸周りの回転運動モードが連成するため、従来の制御系では、これらの剛体モードのみを制御するように設計されていた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の能動除振装置は、弾性モードまで考慮した制御系でなかったため、比較的低い周波数の搭載物或いは除振台に弾性モードが存在する場合に、この弾性モードが励起されて、場合によっては発振現象を起こしてしまうことがあった。そして、弾性モードによる振動が起こった場合には、床からの振動を除振装置で減衰させても、装置上から振動が発生するので、除振の効果が上がらなくなる。また、発振現象が起こった場合は、床から進入する振動よりも大きな振動となり、微振動を嫌う装置では、動作への影響を及ぼすこともあった。

【0006】本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、除振台や該除振台に搭載される搭載物自身のもつ機械的な固有振動数による共振現象を発生させることなく、除振制御できるようにした能動除振装置を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、支持機構で防振支持され電磁アクチュエータで制動力が加えられる除振台と、前記除振台の鉛直方向と水平方向の位置及び振動をそれぞれ検出する変位センサ及び加速度センサと、前記変位センサの検出信号を複数の自由度の運動モードに分解する第1のモード生成器と、前記加速度センサの検出信号を複数の自由度の運動モードに分解する第2のモード生成器と、前記第1のモード生成器の出力から各自由度における位置に関する補償値を生成する位置補償器と、前記第2のモード生成器の出力から各自由度における加速度に関する補償値を生成する加速度補償器と、前記位置に関する補償値と前記加速度に関する補償値を合成した信号から前記除振台或いは該除振台に搭載した搭載物の弾性モードの固有振動数にあたる周波数成分を減衰させて前記電磁アクチュエータに制御信号を送るノッチフィルタとを有することを特徴とする能動除振装置である。

【0008】これにより、除振台或いは該除振台に搭載した搭載物の弾性モードの共振周波数成分を取除いた制御信号で除振台に制動力を加える電磁アクチュエータを制御することで、除振台或いは該除振台に搭載した搭載物の弾性モードによる共振を発生させることなく、除振台の能動除振制御が可能となる。

【0009】請求項2に記載の発明は、前記固有振動数は、設計時の構造解析や実測試験で弾性モードの解析を行って求めたものであることを特徴とする請求項1記載の能動除振装置である。

【0010】請求項3に記載の発明は、前記ノッチフィルタは、鉛直方向の振動制御モード信号に対してフィルタリングすることを特徴とする請求項1または2記載の能動除振装置である。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について添付図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の実施の形態の除振装置の立面図を示す。図1に示すように、除振台10上には、振動を嫌う電子顕微鏡、半導体製造装置等の搭載物（機械装置）12が搭載される。除振台10は、その四隅において空気ばね（支持機構）14により鉛直方向に防振支持されている。空気ばね14は、設置床上に固定される共有ベース16にその下端が固定されている。また、除振台10上には、除振台10の鉛直方向及び水平方向の振動を検出する加速度センサ18が備えられている。更に、除振台10に制御力を加える電磁アクチュエータ20が備えられ、この電磁アクチュエータ20には、除振台10の鉛直方向及び水平方向の位置を検出する変位センサが内蔵されている。

【0012】ここで、除振台10に弾性モードが存在する場合、すなわち、図2に示すように、除振台10が、例えば弾性モードによりY軸を中心として鉛直方向に変形（湾曲）する場合、搭載物12自身から発生する外乱が除振台10の弾性モードの振動を励起し、発振現象を起こすこともある。この実施の形態の能動除振装置にあっては、この除振台10の弾性モードによる振動が引き起こす発振現象を抑制するようにしている。これを図3を参照して説明する。

【0013】図3に示すように、除振台10の4隅には空気ばね14a、14b、14c、14dが配置されている。そして、3台の電磁アクチュエータ20a、20b、20cが三角形の各頂点に位置するように配置されている。これらの各電磁アクチュエータ20a～20cには、除振台10の鉛直方向及び水平方向の位置を検出する変位センサがそれぞれ内蔵されている。更に、鉛直方向及び水平方向の振動（加速度）を検出する加速度センサ18a、18b、18cも三角形の各頂点に位置するよう3ヶ所に配置されている。各々の加速度センサは、鉛直方向の振動（加速度）を検出するセンサと、水平方向の振動（加速度）を検出するセンサが1つずつ組

み合わされて構成されている。

【0014】この除振装置の制御系の概略は次の通りである。各電磁アクチュエータ20a、20b、20cに内蔵された変位センサの検出信号は、コントローラに送られ、第1のモード生成器30に入力されて、6自由度の運動モードに分解される。この運動モードに変換された位置信号は、各自由度毎に各運動モードでの浮上目標値と比較され、浮上目標値と実際の位置との偏差が位置補償器32に入力される。この位置補償器32では、浮上目標値と実際の位置との偏差から位置に関する補償値が演算されて位置補償信号として出力される。

【0015】ここで、浮上目標値と実際の位置との偏差は、弁開度補償器34にも入力されて弁開度に関する補償値が演算され、また位置補償器32からの出力信号は、圧力制御信号に変換される。そして、これらの信号を制御弁36に入力することで、空気圧源から空気ばね14a～14dに連通した制御弁36の開度を制御し、これによって、空気ばね14a～14dの空気圧が変位センサ信号に基づいて調整される。このように空気圧を調整することで、各空気ばね14a～14dの重量負担が変動しても、除振台10は、例えば水平面である目標浮上位置に保持される。

【0016】従って、搭載物12を搭載した除振台10の負荷荷重は、主に空気ばね14a～14dで支持され、電磁アクチュエータ20a～20cはほとんど負荷重量を分担することなく、除振台10に制御力を加える役割を果たす。

【0017】一方、加速度センサ18a～18cの検出信号は、コントローラに送られ、第2のモード生成器38に入力されて、6自由度の運動モードに分解される。この運動モードに変換された加速度（振動）信号は、加速度補償器40に入力され、ここで加速度（振動）に関する補償値が演算されて加速度補償信号として出力される。

【0018】そして、位置補償器32から出力された位置補償信号と、加速度補償器40から出力された加速度補償信号は、加算器42に入力されて各自由度毎に加算され、この加算された信号は、モード分配器44により各電磁アクチュエータ20a～20c毎の制御出力に分配されて、ノッチフィルタ46に入力される。

【0019】このノッチフィルタ46は、モード分配器44により分配された各電磁アクチュエータ20a～20cの制御出力から、この例では、比較的低周波の除振台10の弾性モードの固有振動数に中心周波数を合わせることで、この固有振動数にあたる周波数成分を減衰させるためのものである。この固有振動数は、設計時の構造解析や実測試験で弾性モードの解析を行って求めることができる。

【0020】そして、この除振台10の固有振動数にあたる周波数成分を減衰させ電力増幅器48で動力増幅し

た電流を制御信号として、これを各電磁アクチュエータ20a~20cの電磁石コイルに供給して該各電磁アクチュエータ20a~20cを制御する。

【0021】ここで、この実施の形態にあつては、除振台10は、図2に示すように、例えばY軸を中心として左右に湾曲する弾性モードを有するので、特に鉛直方向と水平方向軸周りの回転成分制御信号に対して、この弾性モードの固有振動数にあたる周波数成分を減衰させるようにしている。

【0022】このように、ノッチフィルタ46により、例えば除振台10の弾性モードの共振周波数成分を取除いた制御信号で各電磁アクチュエータ20a~20cの駆動を制御することにより、除振台10の弾性モードによる共振を発生させることなく能動除振制御することが可能となる。

【0023】なお、この例では、除振台の共振周波数成分をノッチフィルタにより取除くようにした例を示しているが、除振台に載置される搭載物がもつ機械的な固有振動数にあたる周波数成分を減衰させる場合も同様である。

【0024】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明によれば、除振制御を行う制御出力回路にノッチフィルタを設けることによって、除振装置や搭載物のもつ機械的な固有振動数による共振現象を発生させることなく、除振制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の能動除振装置の立面図である。

【図2】同じく、除振台の弾性モードによる変形の説明に付する図である。

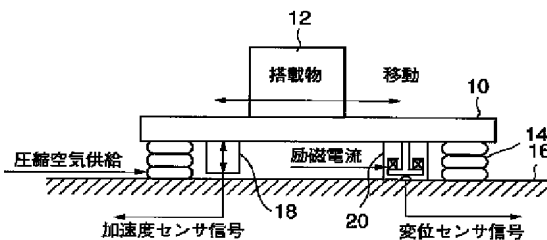
【図3】同じく、能動除振装置の平面的な構成と制御系の概略を示す制御ブロック図である。

【図4】除振台の6つの剛体モードの説明に付する図である。

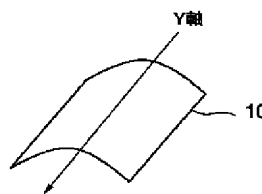
【符号の説明】

- 10 除振台
- 12 搭載物
- 14 空気ばね(支持機構)
- 16 共有ベース
- 18 加速度センサ
- 20 電磁アクチュエータ
- 30 モード生成器
- 32 位置補償器
- 34 弁開度補償器
- 36 制御弁
- 38 モード生成器
- 40 加速度補償器
- 42 加算器
- 44 モード分配器
- 46 ノッチフィルタ
- 48 電力増幅器

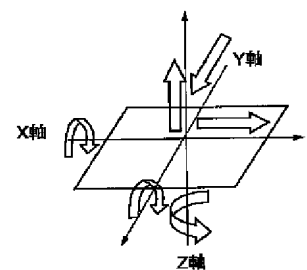
【図1】



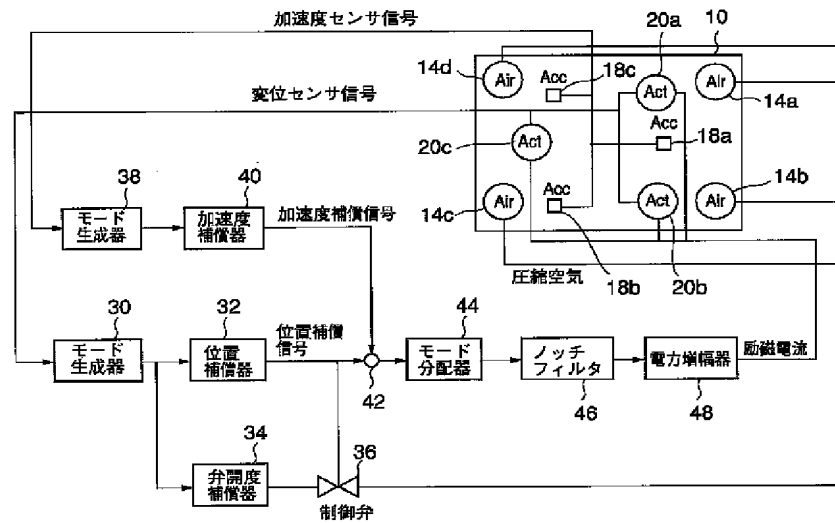
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 芳我 尚秀  
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株  
式会社荏原総合研究所内

Fターム(参考) 3J048 AA03 AB08 AB11 AD01 BE02  
CB23 DA01 EA07 EA38